

# 阿曼山西侧前陆盆地莱克维尔隆起中—新生界构造特征与油气成藏

张宁宁<sup>1</sup>, 姚根顺<sup>2</sup>, 王建君<sup>1</sup>, 张庆春<sup>1</sup>, 马红林<sup>1</sup>, 罗贝维<sup>1</sup>

1 中国石油勘探开发研究院; 2 中国石油杭州地质研究院

**摘要** 我国石油公司在中东阿曼山西侧前陆盆地莱克维尔隆起拥有多个油气合作项目,由于勘探程度较低,对其区域构造与油气成藏特征的认识还不够深入。基于新的井震资料,开展莱克维尔隆起区构造、断裂解释与油气成藏分析。结果表明:① 莱克维尔隆起在三叠纪—侏罗纪处于拉张环境,晚白垩世构造发生反转形成反转背斜,其形成主要受控于阿曼山快速隆升挤压作用,上覆古近系直接披覆于隆起区中白垩统之上呈不整合接触。② 隆起区发育两组高角度正断层,断层形态在剖面上呈“Y”形、复合“Y”形,在平面上呈“X”形交叉分布;晚白垩世由于造山作用导致断层处于挤压状态。③ 研究区中生代长期处于被动陆缘,具有3类典型成藏模式,包括下白垩统Shuaiba组礁滩岩性油气藏、上白垩统Natih组断块型油气藏及地层不整合油气藏、古近系Umm er Radhuma组生物碎屑灰岩岩性油气藏;晚白垩世以来上侏罗统Diyab组、下白垩统Bab组2套主力烃源岩已进入成熟阶段,晚白垩世发育的不整合及三叠纪—侏罗纪伸展背景下形成的垂向断裂构成重要的油气输导体系,促进了区域油气聚集成藏。认为莱克维尔隆起顶部、西侧斜坡带与东侧前渊斜坡带的地质条件相似,具有较大勘探潜力,是未来重要的油气勘探方向。

**关键词** 构造特征; 油气成藏; 勘探潜力; 前陆盆地; 莱克维尔隆起; 阿曼山

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

## 0 前言

波斯湾地区油气资源丰富,在侏罗系、白垩系和古近系—新近系发育多套主力产层。近二十年来,波斯湾地区的油气勘探逐步转向深部及阿曼山前陆区,并在前陆冲断带北部发现一系列小气田,由此揭开了阿曼山逆冲推覆带、前陆冲断带油气勘探的序幕。波斯湾地区是我国近年来大力提倡的“一带一路”重要合作区,自我国石油公司实施“走出去”战略以来在油气合作方面已取得了较大进展<sup>[1]</sup>,尤其是在阿曼山西侧前陆盆地莱克维尔隆起东侧斜坡获得了多个油气田。但是,阿曼山前陆区勘探程度总体仍然很低,油气发现规模小、埋藏深,而且构造复杂,需要深化构造控藏规律的认识。古隆起是沉积盆地内重要的正向构造单元,也是油气运移和聚集的重要指向区,因而开展古隆起的研究具有重要意义<sup>[2-5]</sup>。莱克维尔隆起的形成演化与阿曼山的隆升密切相关<sup>[6-7]</sup>,该古隆起整体油气成藏条

件如何,是否值得大规模展开勘探尚不明确。本文基于新的地震与钻井资料,开展莱克维尔隆起构造特征、构造—沉积演化及油气成藏分析,并在此基础上指出了未来的勘探方向。

## 1 区域地质背景

阿曼山西侧前陆盆地位于阿拉伯板块东部,东侧为阿曼山造山带,北部为波斯湾,其内部划分为莱克维尔隆起、苏内赫前渊及费胡德盐盆等构造单元(图1)。莱克维尔隆起为穹隆状隐伏古隆起,面积超过 $1 \times 10^4 \text{ km}^2$ <sup>[7]</sup>。

基于钻井及区域地质资料分析,盆地自下而上发育古生代裂陷期碎屑岩、中生代陆架碳酸盐岩和新生代前陆期沉积3套构造沉积体系<sup>[8-9]</sup>。目前多数钻井未钻穿二叠系,本文重点阐述莱克维尔隆起及周缘中—新生界构造及油气成藏特征。

古生代裂陷期主要发育页岩、砂岩等碎屑岩系。晚石炭世受海西运动影响,阿拉伯板块发生

收稿日期:2022-03-21; 改回日期:2022-10-18; 网络出版日期:2023-06-13

本文受中国石油集团前瞻性基础性科技项目“海外油气勘探项目资产评估与规划决策技术研究”(编号:2021DJ3106)及“全球重点领域天然气资源评价及一体化评价技术研究”(编号:2021ZG1302)联合资助

**第一作者:** 张宁宁,博士,高级工程师,主要从事海外油气勘探项目评价及油公司发展战略研究。通信地址:100083 北京市海淀区学院路20号;E-mail: zhangningning@petrochina.com.cn

了广泛的抬升和侵蚀;二叠纪发育一套碎屑岩和膏泥岩沉积;三叠纪以后以海相石灰岩沉积为主。

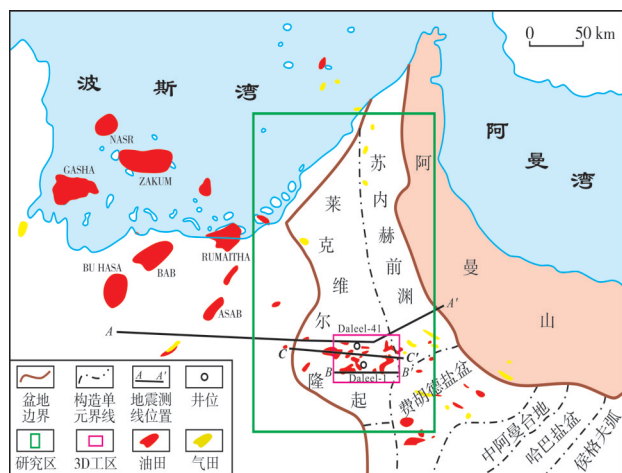


图1 中东阿曼山前陆区构造地质及油气田分布

Fig. 1 Tectonic units and oil and gas fields distribution in the Oman Mountain foreland area of the Middle East

中生代以来,随着冈瓦纳大陆解体,阿拉伯板块东部被动陆缘发育了大范围的碳酸盐台地沉积。尤其是在侏罗纪—白垩纪,阿曼山西侧前陆盆地整体处于向东倾斜的大陆台地斜坡背景,沉积环境稳定,发育了厚层的海相碳酸盐岩(图2)。下白垩统 Shuaiba 组、中白垩统 Natih 组碳酸盐岩是区域上已发现油气田的主要产层。

晚白垩世,随着阿曼山的隆升,盆地开始进入前陆演化期,沉积了 Aruma 群深海泥页岩、Hasa 群与 Fars 群浅水碳酸盐岩(图2),体现了海退与水体变浅的演化过程。在前陆演化初期,推覆体主要位于水下,盆地内主要发育欠补偿环境下的泥岩和远洋沉积;随着前陆盆地持续演进,前隆带出露水面,从造山楔向前隆带主要发育浊积岩、半深海泥岩以及斜坡相碳酸盐岩。

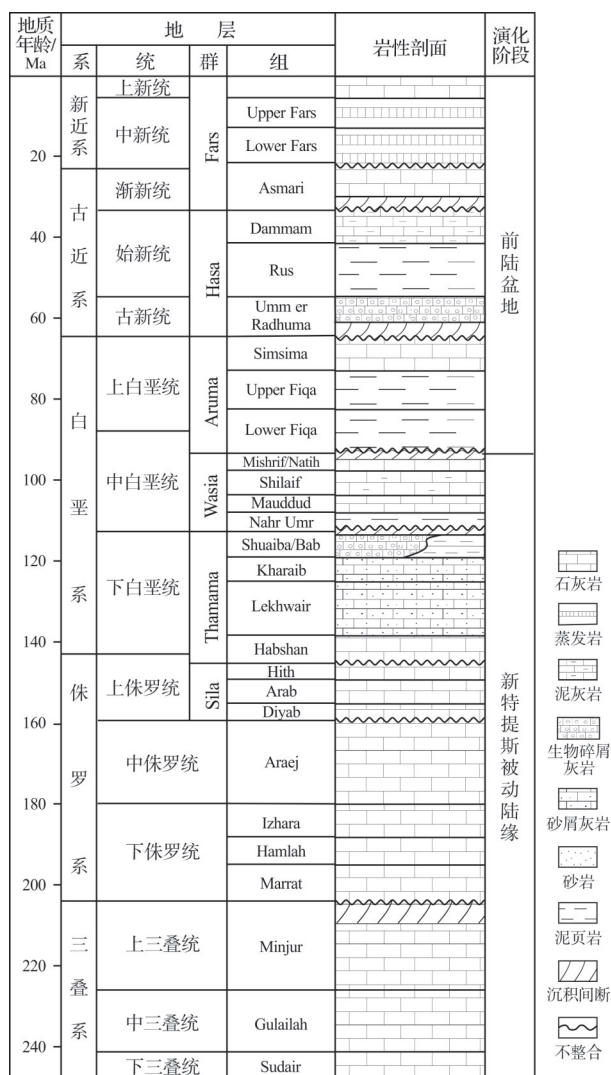


图2 阿曼山西侧前陆盆地地层综合柱状图

Fig. 2 Stratigraphic column of the foreland basin on the west side of Oman Mountain

## 2 构造地质特征

基于前人研究成果<sup>[7,10]</sup>和区域地震地质解释(图3),认为阿曼山西侧前陆盆地以挤压构造为主:

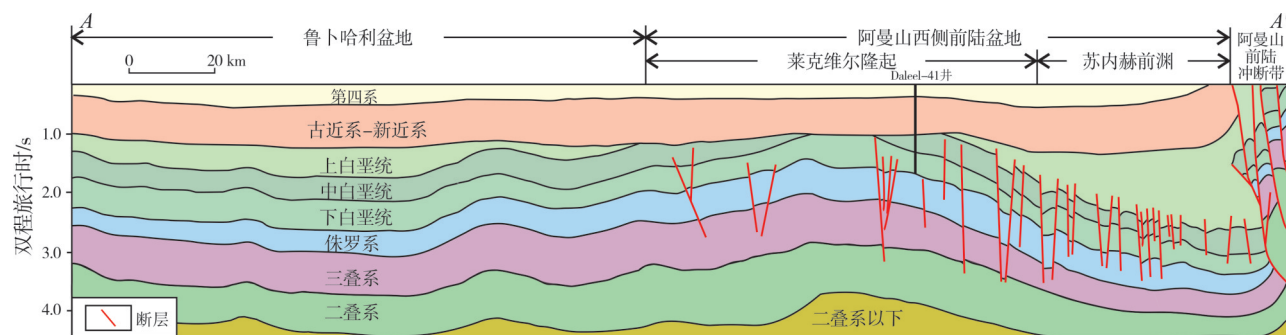


图3 阿曼山西侧前陆盆地地质结构特征(剖面位置见图1)

Fig. 3 Regional geological structure of the foreland basin on the west side of Oman Mountain(profile location is shown in Fig. 1)



山前带发育大型冲断构造,地层沿高角度断层向上逆冲突破;前渊斜坡带整体向东倾,中生界海相碳酸盐岩地层挠曲下沉形成可容空间;莱克维尔隆起顶部白垩系遭受不同程度的剥蚀(地层对比表明剥蚀厚度近千米),古近系直接披覆于中白垩统之上,形成角度不整合接触<sup>[11-12]</sup>。

在三叠纪—侏罗纪伸展环境下,被动陆缘发育一系列正断层。燕山运动末期,受控于阿曼山的隆升,研究区进入前陆盆地演化阶段。前陆冲断带发育系列高角度冲断层,释放了一部分来自东部的挤压应力;挤压应力继续向西传播,中生代碳酸盐岩地层挠曲下沉,形成前渊带。在前渊隆起区,前期的正断层在挤压作用改造下产状发生改变,地层发生一定程度的反转,莱克维尔隆起就是晚白垩世发

育的反转背斜<sup>[7]</sup>。通过 2DMove 软件进行平衡剖面恢复获得区域总体缩短率为 14% 左右<sup>[7]</sup>。晚白垩世隆起区遭受了长期淋滤剥蚀,古近纪构造活动趋于平稳,前陆期沉积逐渐覆盖在隆起之上。

研究区经历了中生代早期的拉张及晚白垩世的挤压两期构造应力作用,后期的挤压应力导致前期断层的活化与改造,最终形成了现今的断裂分布特征。基于三维区精细地震地质解释,莱克维尔隆起顶部发育一系列张性断层,并发育垒-堿结构(图 4);断层剖面组合形态呈“Y”形、复合“Y”形;大量断层呈高角度向上消失在古近系或上白垩统 Fiq 组泥岩地层中。

平面上,主要发育 NW 向、NNW 向 2 组断裂(图 5),呈“X”形交叉分布。区内发育各级断裂 755 条;长度

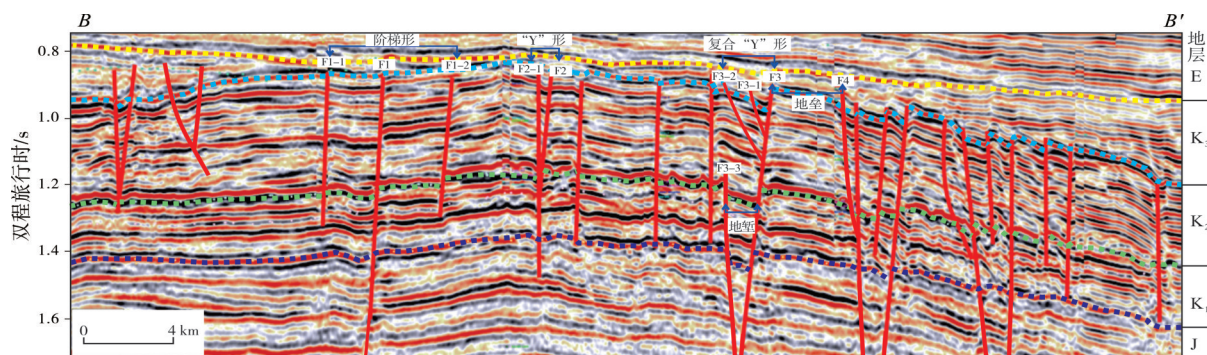


图 4 莱克维尔隆起顶部断裂发育特征(剖面位置见图 1)

Fig. 4 Characteristics of faults on the top of Lekhwaier Uplift (profile location is shown in Fig. 1)

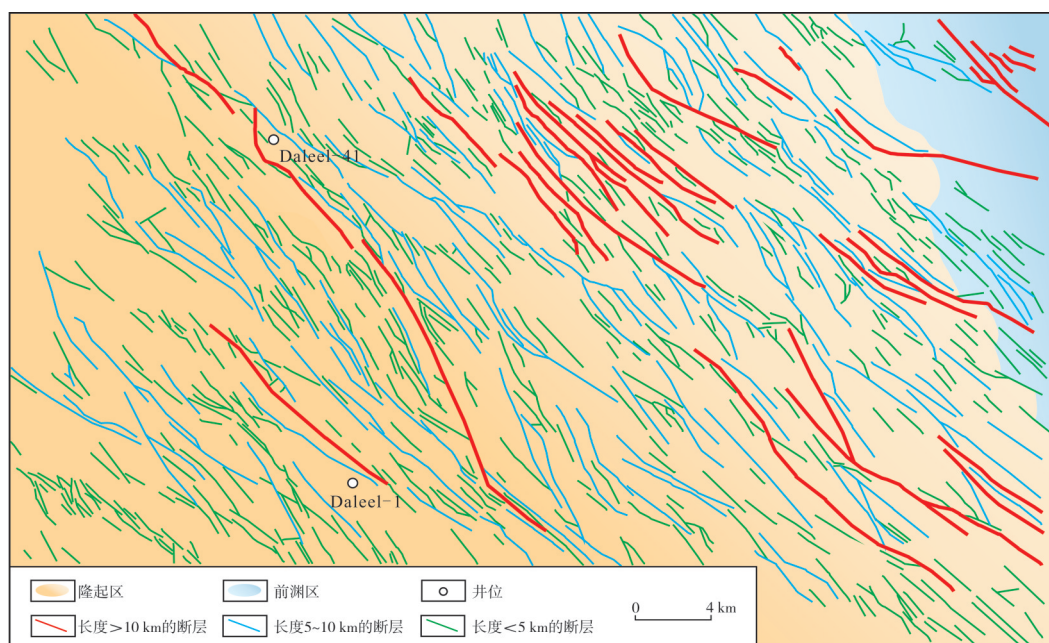


图 5 莱克维尔隆起上白垩统顶面断裂分布(位置参见图 1 的 3D 工区)

Fig. 5 Faults distribution on the top surface of Upper Cretaceous in Lekhwaier Uplift

大于10 km的断裂有27条,走向分布于312°~337°;长度在5~10 km之间的断裂有166条,走向分布于312°~337°;长度小于5 km的断裂有522条,走向分布于315°~342°。

### 3 油气成藏特征

#### 3.1 油气地质条件

研究区主力烃源岩包括上侏罗统 Diyaab 组泥灰岩、下白垩统 Bab 组泥页岩,次要烃源岩为中白垩统 Shilaif 组沥青质泥灰岩,它们均发育于陆架内坳陷环境。进入晚白垩世前陆演化阶段,这些烃源岩多数已

进入生排烃期<sup>[13-16]</sup>(图6)。上侏罗统 Diyaab 组埋深约为4 000~6 000 m;有机质丰度高,TOC 大多为0.3%~5.5%,最高可以达到12.5%; $R_o$ 为1.2%~1.3%,已进入生油窗,深部的成熟度更高,已达生气窗(图6)。下白垩统 Bab 组泥页岩与 Shuaiba 组台地相生物碎屑灰岩为同期异相(图2);该套烃源岩有机质丰度高,TOC 大多为1%~6%,平均为3.6%,局部最高可达12%,主要发育 I 型、II 型干酪根; $R_o$ 为0.6%~1.2%,主体已进入成熟阶段。中白垩统 Shilaif 组烃源岩有机质丰度较高,TOC 最高达4.5%,平均为3%,主要发育 I 型、II 型干酪根; $R_o$ 一般大于0.9%,进入成熟期。

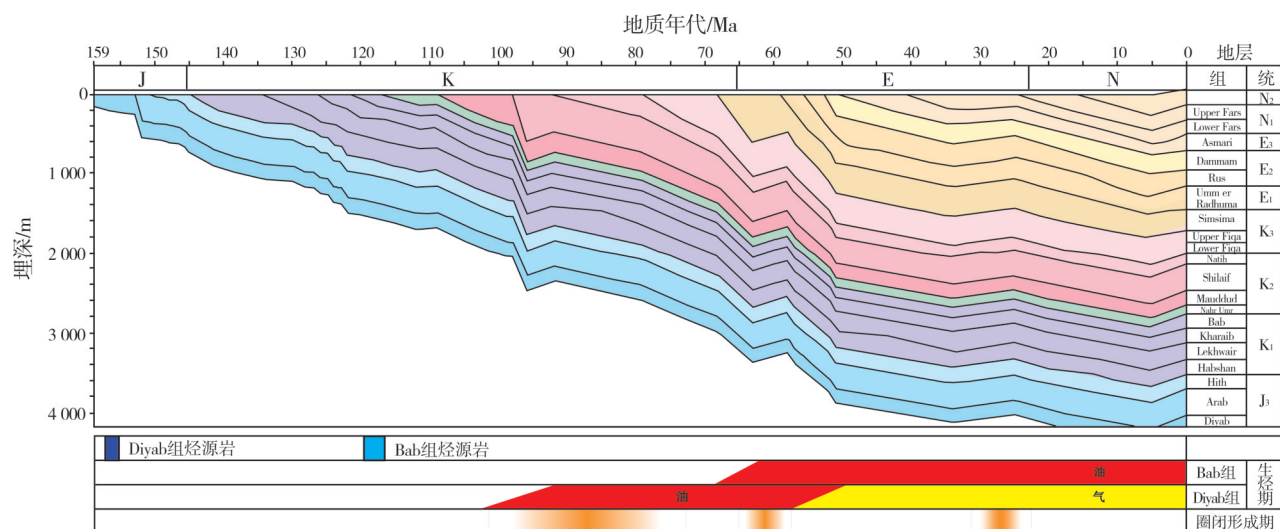


图6 阿曼山西侧前陆盆地地层埋藏史及成藏关键期

Fig. 6 Burial history and critical period of hydrocarbon accumulation in the foreland basin on the west side of Oman Mountain

研究区中—新生界储层主要包括下白垩统 Shuaiba 组、中白垩统 Natih 组及古新统 Umm er Radhuma 组,其中,白垩系储层分布最广。Shuaiba 组发育于陆架碳酸盐台地,具有“缓斜坡镶边台地”沉积特征,由大套粒泥灰岩和台缘介壳灰岩组成,生物礁体主要形成于早期存在的台地高点和台地边缘的高能相带,岩性为藻类粘结灰岩。Natih 组形成于广阔的陆架环境,发育大套粒泥灰岩和台缘介壳灰岩,具有棘皮类和腕足碎片(图7a)和珊瑚、藻类结构。中白垩世末期—晚白垩世,莱克维尔隆起遭受风化剥蚀,溶蚀作用造成灰岩储集物性较好,孔隙度一般为15%~33%(图7b),渗透率为 $(1\sim20)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,属于高孔中低渗储层。

区域盖层主要有上白垩统 Fiqa 组(细分为 Lower、Upper)泥页岩,沉积厚度大,封盖能力强。其他盖层包括下白垩统 Thamama 群致密灰岩、始新统

Rus 组页岩和中新统 Lower Fars 组蒸发岩。

莱克维尔隆起区断块构造十分发育,地垒与地堑相间(图4),东侧的斜坡带主要发育断块圈闭及石灰岩岩性圈闭。圈闭主要形成于晚白垩世以后,与关键烃源岩的生排烃期匹配良好(图6),这为油气成藏创造了有利条件。

#### 3.2 油气藏类型

阿曼山西侧前陆盆地整体上发育上侏罗统、下白垩统、中白垩统以及古近系等4套成藏组合:上侏罗统成藏组合由 Diyaab 组烃源岩、Arab 组石灰岩储层和上覆致密灰岩盖层构成;下白垩统成藏组合以 Shuaiba 组生物礁灰岩为储层,上覆中白垩统 Nahr Umr 组页岩为盖层,烃类来自于下伏 Diyaab 组和同期异相的 Bab 组泥页岩;中白垩统成藏组合以 Natih 组石灰岩为储层,上白垩统底部 Fiqa 组泥页岩为盖



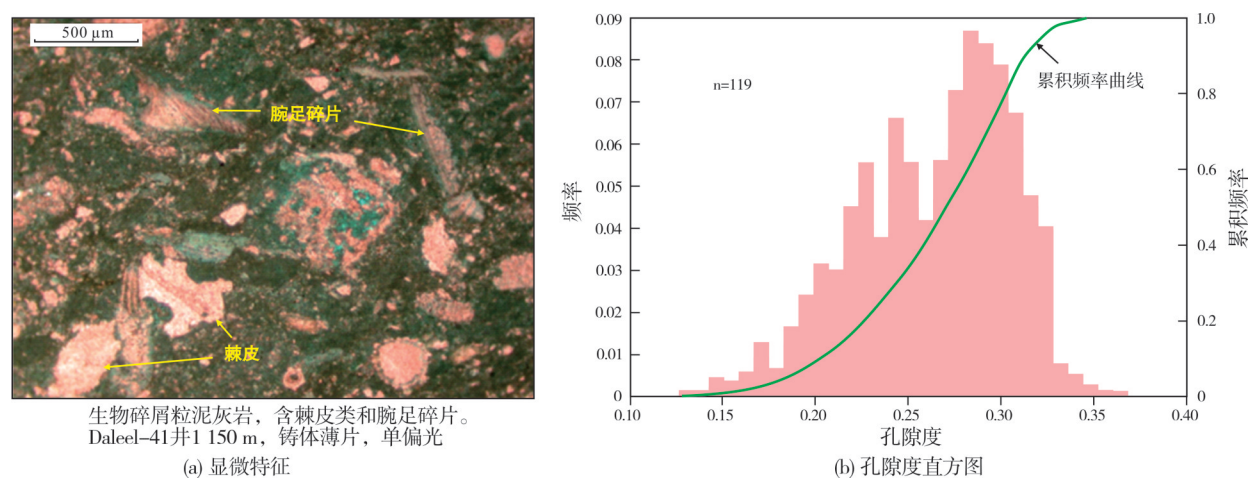


图7 莱克维尔隆起区Natih组岩心显微照片及孔隙度分布直方图  
Fig. 7 Core micrograph and porosity histogram of Natih Formation in Lekhwaier Uplift

层,烃类来自于下伏主力烃源岩,Shilaif组泥灰岩可能有一定贡献;古近系成藏组合以Umm er Radhuma组生物碎屑灰岩为储层,上覆Rus组页岩为盖层,油气来自于下伏白垩系油气藏的调整和再分配<sup>[17]</sup>。

以莱克维尔隆起东翼5区块(图1,三维工区)为例,该区总体上为西北高、东南低的单斜,其中Daleel油田位于中部,包含多个断块,以断块-岩性油藏为主。Daleel油田区北西—南东向断裂十分

发育(图5),且主要为正断层,断距最大达120 m,形成地垒与地堑相间的断块(图4)。目前以中白垩统Natih组及下白垩统Shuaiba组油气最为丰富。研究区主要发育3类典型圈闭及油气藏类型:以Shuaiba组为代表的礁滩岩性油气藏,以Natih组为代表的断块型油气藏及地层不整合油气藏,以及古新统Umm er Radhuma组生物碎屑灰岩岩性油气藏(表1,图8)。

表1 莱克维尔隆起中—新生界油气藏特征  
Table 1 Characteristics of Mesozoic–Cenozoic reservoir in Lekhwaier Uplift

层位	产层	埋深/m	岩性	油藏类型	成藏主控因素
古新统	Umm er Radhuma组	800~1 000	石灰岩	岩性油藏	岩性圈闭有效性
中白垩统	Natih组上部	1 100~2 900	石灰岩	不整合面下的地层油藏	不整合面
	Natih组下部	1 650~3 500	石灰岩	断背斜油藏	构造+断层
下白垩统	Shuaiba组	1 300~2 600	石灰岩	岩性油藏	岩性+构造

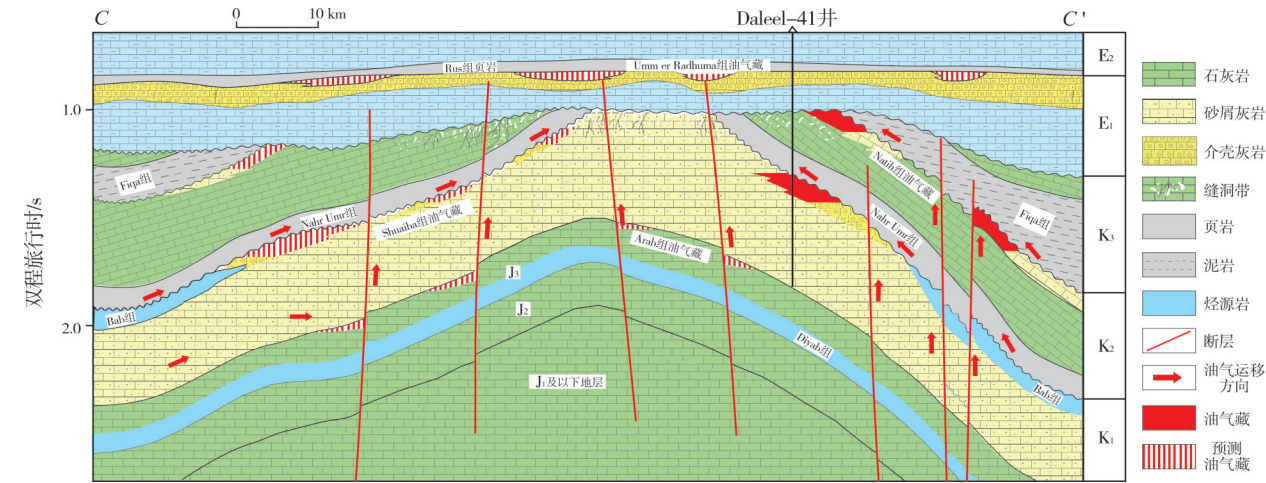


图8 莱克维尔隆起油气成藏模式(剖面位置见图1)  
Fig. 8 Hydrocarbon accumulation pattern in Lekhwaier Uplift (profile location is shown in Fig. 1)

### (1) Shuaiba组礁滩岩性油气藏

Shuaiba组位于下白垩统顶部,主要为浅海生物礁灰岩,上覆的中白垩统 Nahr Umr 组泥灰岩和页岩形成有效的区域性盖层(图8),良好的储盖组合以及广泛发育的生物礁岩性圈闭,为油气成藏奠定了基础。来自主力烃源岩 Diyab 组、Bab 组的油气通过断层向上运移,并通过中、下白垩统之间的不整合面及层间孔隙作横向输导,对 Shuaiba 组生物礁岩性圈闭充注成藏(图8)。

### (2) Natih 组断块型油气藏及地层不整合油气藏

Natih 组位于中白垩统顶部,为中等水深环境的前陆斜坡沉积,以夹薄层页岩的石灰岩为主,上覆的上白垩统 Fiqa 组厚层泥页岩形成区域性盖层(图8)。来自主力烃源岩 Diyab 组和 Bab 组的油气通过断层向上运移对 Natih 组构造及地层不整合圈闭充注成藏。

### (3) Umm er Radhuma 组生物碎屑灰岩油气藏

古新统 Umm er Radhuma 组上部为浅海台地相生物碎屑灰岩,平均孔隙度在 25% 以上;该组上覆的 Rus 组页岩可充当盖层。通过油-油对比认为, Umm er Radhuma 组原油来自于 Natih 组,但区内 Natih 组烃源岩并未成熟,故推断烃类来自于东部前渊带埋藏更深的白垩系<sup>[18]</sup>。莱克维尔隆起东部发育较厚的 Fiqa 组泥岩,可能阻碍了 Natih 组丰富的油气向上垂向运移。油气只有沿着 Natih 组顶部不整合面,向西侧高部位运移(图8),仅在 Natih 组顶部与上覆古新统直接接触的区域,才有可能垂向运移到 Umm er Radhuma 组中聚集成藏(图8)。晚白垩世前陆盆地演化阶段,莱克维尔古隆起顶部发育一系列张性断裂(图8),这为油气向上运移提供了有效的运移通道。此外,如果有“溶蚀塌陷”通道存在,将更有助于 Natih 组油气以及深部油气垂向运移。同时,裂缝、溶蚀孔组合形成的集合体可有效改善碳酸盐岩储层的物性<sup>[18-19]</sup>。

## 4 勘探方向及讨论

在中东地区尤其是扎格罗斯褶皱带西侧前陆沉积区,已经发现了众多世界级碳酸盐岩油气田<sup>[20-21]</sup>。阿曼山西侧前陆盆地沉积厚度大,且经历了多期次构造演化,中生代长期处于被动陆缘环境,发育大套海相碳酸盐岩,其中的泥灰岩夹层有机碳含量高,并已进入生油窗,这构成了区域油气

生成与聚集的重要物质基础<sup>[22-25]</sup>。莱克维尔隆起形成于晚白垩世以后,与关键烃源成熟期匹配良好,是重要的油气运聚区和勘探方向。

阿曼山西侧前陆盆地从前渊斜坡带的岩性和断块圈闭,到前渊隆起的地层、断块圈闭,圈闭连片分布。莱克维尔隆起区在晚白垩世挤压隆升后接受了长时间的暴露侵蚀,白垩系储层被溶蚀改造。另外,晚白垩世隆起区作为主要的构造变形区,伴生大量的裂缝,进一步促进了储层的发育。前渊隆起、前渊斜坡区具备优越的油气地质条件,位于油气运移的有利指向区(图8)。莱克维尔隆起西侧斜坡带发育相似的地质环境:区域封盖条件在古隆起西翼斜坡带发育,斜坡背景发育一系列构造、岩性圈闭,断裂和不整合面构成油气输导体系。因此,莱克维尔隆起西侧斜坡带的勘探前景值得重视。在莱克维尔隆起顶部,白垩系盖层被剥蚀破坏,但始新统 Rus 组页岩可以作为区域性盖层,从深部运移上来的油气可在古新统 Umm er Radhuma 组生物碎屑灰岩储层中聚集成藏(图8)。综上所述,莱克维尔隆起顶部及西侧斜坡带同样具有较大的勘探潜力,可作为下一步重要的勘探方向。

## 5 结论与认识

(1)阿曼山西侧前陆盆地莱克维尔隆起为晚白垩世开始发育的潜伏古隆起,其形成与演化主要受控于东部阿曼山造山带的隆升挤压。隆起区主要发育两期高角度正断层,走向为北西—南东及北北西—南南东,演化过程为:三叠纪—侏罗纪被动陆缘发育了一系列正断层,在晚白垩世以来前陆盆地期发生一定程度的反转。

(2)研究区发育3类油气藏:下白垩统 Shuaiba 组礁滩岩性油气藏,中白垩统 Natih 组断块型油气藏及地层不整合油气藏,以及浅部古新统 Umm er Radhuma 组生物碎屑灰岩岩性油气藏。中—新生界烃源岩有机质丰度高、埋深大,多数已达成熟阶段。莱克维尔古隆起发育一系列正断层,顶部发育不整合面,这些既为油气运移提供了有效的通道,也改善了区域碳酸盐岩储集空间,促进了区域油气聚集成藏。晚白垩世以来圈闭发育期与烃源岩生排烃期匹配良好。

(3)莱克维尔隆起西侧斜坡带与东侧前渊斜坡带的白垩系油气地质条件相似,勘探前景值得重

视。隆起区顶部古近系 Rus 组页岩为区域盖层,从深部运移上来的油气可在 Umm er Radhuma 组生物碎屑灰岩中聚集成藏。莱克维尔隆起区及西侧斜坡带仍然具有较大的勘探潜力,是未来勘探目标选区的重点有利方向。

#### 参考文献

- [1] 姚根顺,伍贤柱,孙赞东,等. 中国陆上深层油气勘探开发关键技术现状及展望[J]. 天然气地球科学, 2017, 28(8): 1154–1164.  
YAO Genshun, WU Xianzhu, SUN Zandong, et al. Status and prospects of exploration and exploitation key technologies of the deep oil & gas resources in onshore China[J]. Natural gas geoscience, 2017, 28(8): 1154–1164.
- [2] 曹彦清,张友,沈安江,等. 塔里木盆地古城地区奥陶系碳酸盐岩成储与油气成藏[J]. 海相油气地质, 2020, 25(4): 303–311.  
CAO Yanqing, ZHANG You, SHEN Anjiang, et al. Carbonate reservoir formation and hydrocarbon accumulation of Ordovician in Gucheng area, Tarim Basin[J]. Marine origin petroleum geology, 2020, 25(4): 303–311.
- [3] 贾承造,宋岩,魏国齐,等. 中国中西部前陆盆地的地质特征及油气聚集[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 3–13.  
JIA Chengzao, SONG Yan, WEI Guoqi, et al. Geological features and petroleum accumulation in the foreland basins in central and western China[J]. Earth science frontiers, 2005, 12(3): 3–13.
- [4] 何登发,李德生,童晓光. 中国多旋回叠合盆地立体勘探论[J]. 石油学报, 2010, 31(5): 695–709.  
HE Dengfa, LI Desheng, TONG Xiaoguang. Stereoscopic exploration model for multi-cycle superimposed basins in China[J]. Acta petrolei sinica, 2010, 31(5): 695–709.
- [5] 赵文智,张光亚,王红军,等. 中国叠合含油气盆地石油地质基本特征与研究方法[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(2): 1–8.  
ZHAO Wenzhi, ZHANG Guangya, WANG Hongjun, et al. Basic features of petroleum geology in the superimposed petroliferous basins of China and their research methodologies[J]. Petroleum exploration and development, 2003, 30(2): 1–8.
- [6] 白国平. 中东油气区油气地质特征[M]. 北京: 中国石化出版社, 2007: 1–192.  
BAI Guoping. Oil and gas geological characteristics of Middle East oil and gas region[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2007: 1–192.
- [7] 张宁宁,姚根顺,王建君,等. 阿曼山西侧前陆区构造演化特征及地质意义[J]. 地质科学, 2021, 56(4): 1077–1087.  
ZHANG Ningning, YAO Genshun, WANG Jianjun, et al. Western foreland of the northern Oman Mountains: structural evolution and geological significance[J]. Chinese journal of geology, 2021, 56(4): 1077–1087.
- [8] 贾小乐,何登发,童晓光. 波斯湾盆地新生界油气成藏组合地质特征及成藏模式[J]. 新疆石油地质, 2014, 35(1): 118–123.  
JIA Xiaole, HE Dengfa, TONG Xiaoguang. Geological characteristics and hydrocarbon accumulation model for Cenozoic play in Persian Gulf basin[J]. Xinjiang petroleum geology, 2014, 35(1): 118–123.
- [9] ALSHARHAN A S, WHITTLE G L. Sedimentary–diagenetic interpretation and reservoir characteristics of the Middle Jurassic (Araej Formation) in the southern Arabian Gulf[J]. Marine and petroleum geology, 1995, 12(6): 615–628.
- [10] SEARLE M P, ALI M Y. Structural and tectonic evolution of the Jabal Sumeini – Al Ain – Buraimi region, northern Oman and eastern United Arab Emirates[J]. GeoArabia, 2009, 14(1): 115–142.
- [11] 贾小乐,何登发,童晓光,等. 波斯湾盆地大气田的形成条件与分布规律[J]. 中国石油勘探, 2011, 16(3): 8–22.  
JIA Xiaole, HE Dengfa, TONG Xiaoguang, et al. Formation and distribution of giant gas fields in Persian Gulf Basin[J]. China petroleum exploration, 2011, 16(3): 8–22.
- [12] 罗贝维,张庆春,段海岗,等. 中东鲁卜哈利盆地白垩纪构造演化的沉积响应及对石油勘探启示[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(4): 115–124.  
LUO Beiwei, ZHANG Qingchun, DUAN Haigang, et al. Sedimentary response of Cretaceous tectonic evolution in the Middle East Rub Al Khali Basin and its inspirations for oil exploration[J]. China petroleum exploration, 2020, 25(4): 115–124.
- [13] 朱伟林,白国平,李劲松,等. 中东含油气盆地[M]. 北京: 科学出版社, 2014.  
ZHU Weilin, BAI Guoping, LI Jinsong, et al. Petroliferous basins in Middle East[M]. Beijing: Science Press, 2014.
- [14] 张宁宁,何登发,孙衍鹏,等. 全球碳酸盐岩大油气田分布特征及其控制因素[J]. 中国石油勘探, 2014, 19(6): 54–65.  
ZHANG Ningning, HE Dengfa, SUN Yanpeng, et al. Distribution patterns and controlling factors of giant carbonate rock oil and gas fields worldwide[J]. China petroleum exploration, 2014, 19(6): 54–65.
- [15] ALSHARHAN A S. Geology and reservoir characteristics of carbonate buildup in Giant Bu Hasa Oil Field, Abu Dhabi, United Arab Emirates[J]. AAPG bulletin, 1987, 71(10): 1304–1318.
- [16] ABU-ALI M A, FRANZ U A, SHEN J, et al. Hydrocarbon generation and migration in the Paleozoic sequence of Saudi Arabia[C]//Middle East Oil Show, Bahrain: Society of Petroleum Engineers, 1991: SPE-21376-MS.
- [17] 叶禹,李柯然,杨沛广,等. 阿联酋东鲁卜哈利盆地白垩系 Mishrif 组碳酸盐岩储层孔隙特征[J]. 海相油气地质, 2022, 27(1): 45–54.  
YE Yu, LI Keran, YANG Peiguang, et al. Pore characteristics of carbonate reservoir of the Cretaceous Mishrif Formation in East Rub Al Khali Basin, UAE[J]. Marine origin petroleum



- geology, 2022, 27(1): 45–54.
- [18] ALI M Y, SIRAT M, SMALL J. Geophysical investigation of Al Jaww Plain, eastern Abu Dhabi: implications for structure and evolution of the frontal fold belts of the Oman Mountains [J]. *GeoArabia*, 2008, 13(2): 91–118.
- [19] ABU-ALI M A, RUDKIEWICZ J L L, MCGILLIVRAY J G, et al. Paleozoic petroleum system of Central Saudi Arabia [J]. *GeoArabia*, 1999, 4(3): 321–336.
- [20] ABOU-CHOUCHA M K A, ENNADI I M. Possible stratigraphic traps in the Shuaiba Formation onshore Abu Dhabi [C]//4th Abu Dhabi Petroleum Conference, United States: Society of Petroleum Engineers, 1990.
- [21] BEYDOUN Z R. Arabian plate hydrocarbon geology and potential: a plate tectonic approach [M]. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 1991: 33–77.
- [22] ALSHARHAN A S, NAIRN A E M. Sedimentary basins and petroleum geology of the Middle East [M]. Amsterdam: Elsevier, 1997: 1–843.
- [23] ALI M Y, FAIRHEAD J D, GREEN C M, et al. Basement structure of the United Arab Emirates derived from an analysis of regional gravity and aeromagnetic database [J]. *Tectonophysics*, 2017, 712/713: 503–522.
- [24] DAHL J E, LIU S G, CARLSON R M K. Isolation and structure of higher diamondoids, nanometer-sized diamond molecules [J]. *Science*, 2002, 299(5603): 96–99.
- [25] ALSHARHAN A S, STROHMENGER C J, AL-MANSOORI A. Mesozoic petroleum systems of Abu Dhabi, United Arab Emirates [M]//MARLOW L, KENDALL C C G, YOSE L A. Petroleum systems of the Tethyan region. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 2014: 679–711.

编辑:董 庸

## Structural characteristics and hydrocarbon accumulation in Lekhwair Uplift of the foreland basin on the west side of Oman Mountain, Middle East

ZHANG Ningning, YAO Genshun, WANG Jianjun, ZHANG Qingchun,  
MA Honglin, LUO Beiwei

**Abstract:** China's oil companies have several oil and gas cooperation projects in the east of Lekhwair Uplift of the foreland basin on the west side of Oman Mountain, Middle East. Due to the lower degree of regional exploration, the analysis of structure-faults and hydrocarbon accumulation was not deep enough, which restricts the regional exploration process. Based on the new well and seismic data, this paper carried out system structural interpretation and analysis of hydrocarbon accumulation. The results show that: (1) Once being in a regional tensile environment during Triassic-Jurassic, the Lekhwair Uplift is a reverse anticline developed in Late Cretaceous mainly under the control of the rapid uplift and compression of the Oman Mountain, and the overlying Paleogene is directly draped over the Middle Cretaceous in angular unconformity contact in the uplift area. (2) Two sets of high-angle normal faults developed in the uplift area, the different scale faults appear as Y-shape or composite Y-shape forming graben-horst structure on section, and as X-shape distribution in the plane. In Late Cretaceous, these faults are in a closed state due to the orogenic compression. (3) This region was in the passive continental margin for a long time in the Mesozoic era, and the temporal-spatial configuration of source, reservoir and cap is good. The study area has three typical reservoir forming models, namely, the Lower Cretaceous Shuaiba reef-shoal lithologic reservoir, the Upper Cretaceous Natih fault-block reservoir and stratigraphic unconformity reservoir, and the Paleogene Umm er Radhuma bioclastic limestone reservoir. The two sets of main source rock, Diyab Formation of Upper Jurassic and Bab Formation of Lower Cretaceous, have entered a mature stage since Late Cretaceous, then unconformity and vertical faults constitute an important oil and gas conducting system in the region, promoting regional oil and gas accumulation. It is believed that the top and west slope of Lekhwair Uplift have similar geological conditions with those in the east, so they have larger exploration potential and are important exploration directions in the future.

**Key words:** structural characteristics; hydrocarbon accumulation; exploration potential; foreland basin; Lekhwair Uplift; Oman Mountain

**ZHANG Ningning**, First author: PhD, Senior Engineer, mainly engaged in overseas oil & gas assets evaluation and corporate strategy research. Add: No. 20 Xueyuan Rd., Haidian District, Beijing 100083, China